

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д002.203.01

протокол № 142 от 3 октября 2022 г.

Председатель:

Заместитель председателя
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук
Клочкова В.Г.

Ученый секретарь:

кандидат физ.-мат. наук
Шолухова О. Н.

Состав совета - 20 человек, присутствуют - 14:

д.ф.-м.н., Клочкова В.Г. 01.03.02
к.ф.-м.н., Шолухова О.Н. 01.03.02
д.ф.-м.н., Васильев Е.О. 01.03.02
д.ф.-м.н., Глаголевский Ю.В. 01.03.02
д.ф.-м.н., Караченцев И.Д. 01.03.02
д.ф.-м.н., Левшаков С.А. 01.03.02
д.ф.-м.н., Макаров Д. И. 01.03.02
д.ф.-м.н., Мингалиев М.Г. 01.03.02
д.ф.-м.н., Моисеев А.В. 01.03.02
д.ф.-м.н., Панчук В.Е. 01.03.02
д.ф.-м.н., Романюк И.И. 01.03.02
д.ф.-м.н., Сачков М.Е. 01.03.02
д.ф.-м.н., Трушкин С.А. 01.03.02
д.ф.-м.н., Фабрика С.Н. 01.03.02

Председатель:

Всем доброе утро, начинаем работу. Предлагаю работать всем в темпе, не затягивать, поскольку у нас жесткое расписание. Первая защита у нас - Михайлов Александр. Название работы: "Определение физических параметров сверхмассивных черных дыр и исследование радиосвойств активных ядер галактик". Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории, научный руководитель работы - кандидат физ.-мат. наук Пиотрович Михаил Юрьевич, назначены официальные оппоненты Бикмаев Ильфан Фяритович, доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент Академии наук республики Татарстан, следующий оппонент - Харинов Михаил Александрович, кандидат физ.-мат. наук, Институт прикладной астрономии РАН, старший научный сотрудник. И ведущая организация - федеральное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН. Прошу прояснить ситуацию с документами.

Секретарь:

С документами все в порядке.

Председатель:

Так, официальную информацию я назвала, соискатель может приступить к докладу, 20 минут.

Михайлов А. Г.:

Здравствуйте! Я представляю свою диссертационную работу, посвященную определению физических параметров сверхмассивных черных дыр и исследованию радиосвойств активных ядер галактик. В настоящее время концепция черных дыр прочно утвердилась в астрофизике и ее применение позволяет объяснить многообразие явлений, наблюдаемых в активных ядрах галактик, которые связываются с процессами аккреции на центральную сверхмассивную черную дыру.

Характеристики вот этого процесса во многом определяются параметрами центральной черной дыры, а сама черная дыра полностью может быть охарактеризована ее массой и спином, представляющим собой безразмерный угловой момент вращения. Поэтому для понимания явлений, происходящих в активных ядрах, влияния активного ядра на родительскую галактику и их совместную эволюцию, необходима разработка методов определения параметров сверхмассивных черных дыр. Если говорить применительно к активным ядрам галактик, то в настоящее время наиболее разработанным методом определения спина черных дыр считается метод т. н. рентгеновской отражательной спектроскопии, геометрия которого изображена на данном слайде. Качественно, здесь используется факт зависимости величины внутреннего края аккреционного диска от спина черной дыры, а положение внутреннего края аккреционного диска определяется по форме рентгеновской линии железа 6.4 кэВ. Однако, к сожалению, поскольку для более-менее успешного применения вот этого метода необходимы высококачественные рентгеновские спектры, что ограничено возможностями существующих в настоящее время инструментов, и по этой причине ограничения величины спина получены для примерно 40 объектов относительно близких активных ядер галактик, и здесь также показано на слайде соотношение между массой черной дыры и спином. Подобное соотношение я далее буду называть диаграммой “масса-спин”.

Исследования активных ядер галактик также проводятся в радиодиапазоне и, если мы говорим о внегалактических источниках ближней Вселенной, то исследования последних 10-15 лет показывают, что большинство внегалактических радиоисточников являются достаточно компактными в сравнении с классическими, привычными нам, радиогалактиками FRI и FRII, в них отсутствуют сколь-либо заметные протяженные радиоизлучающие компоненты. Вместе с тем,

распространенность объектов такого типа, FR0, означает, что природа их активности должна быть связана с наиболее общими физическими механизмами, но вместе с тем, они остаются малоисследованными и во многом неясна их взаимосвязь с другими классами внегалактических радиоисточников, например, остаются открытыми положение на эволюционной последовательности радиоисточников. Если же рассматривать активные ядра галактик на больших красных смещениях, раннюю Вселенную, то они также остаются достаточно малоисследованными в радиодиапазоне и ряд вопросов требуют своего решения, в частности, то же самое положение на эволюционной последовательности, также эволюция доли радиогромких активных ядер галактик с красным смещением и другие. То есть, исходя из всего вышесказанного, цель работы представляется актуальной.

Цель работы, как я уже сказал, заключается в определении физических параметров сверхмассивных черных дыр в выборках различных активных ядер и исследовании их радиосвойств. Для достижения поставленной цели решались ряд задач. Во-первых, это сопоставление современных подходов и методов определения спина и развитие метода расчета величины спина на основе гибридных моделей формирования джета. Во-вторых, формирование выборок, расчет величины спина сверхмассивных черных дыр, построение диаграмм “масса-спин” и анализ полученных результатов. Третье, оценка величины магнитного поля в окрестностях сверхмассивных черных дыр и анализ возможных зависимостей между величиной магнитного поля и некоторыми параметрами сверхмассивной черной дыры и аккреционного диска. В-четвертых, сбор литературных данных об измерениях в радиоконтинууме и угловой структуре радиогалактик FR0, а также квазаров и блазаров на больших красных смещениях и формирование выборок. В-пятых, подготовка и проведение наблюдений на РАТАН-600,

калибровка и обработка измерений. И, в-шестых, определение параметров радиоизлучения исследованных объектов и анализ полученных результатов.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. В первой главе дается обзор существующих методов определения спина сверхмассивных черных дыр, а также излагается применяемый и развиваемый нами метод, основанный на применении гибридных моделей генерации джетов. При этом мы рассматриваем две гибридные модели, которые были разработаны, вот, указанными авторами. Гибридные модели привлекают для объяснения энергетики джета как механизм Блэндфорда-Знайека, который описывает вклад в мощность джета вращательной энергии черной дыры самой, так и механизм Блэндфорда-Пейна, который описывает вклад в мощность джета энергии аккреционного диска. Далее, мы предполагаем соотношение между плотностями энергии магнитного поля и аккрецирующего вещества, которые могут быть описаны соответствующими параметрами бета и бета-один, что позволяет нам получить уравнения, левая часть которых содержит интересующую нас величину спин, а в правую часть входят мощность джета и болометрическая светимость, т. е., те величины, которые могут быть определены тем или иным образом на основе наблюдательных данных. Поскольку сама по себе черная дыра не может обладать магнитным полем, это означает то, что магнитное поле должно быть каким-то образом привнесено извне, в частности, за счет процессов аккреции. В то же время, из общих соображений понятно, что плотность энергии магнитного поля не может превосходить плотности энергии аккрецирующего вещества. По этой причине в дальнейших наших расчетах мы параметры бета и бета-один полагали равными единице. Тем самым, решение этих уравнений дает нам, строго говоря, нижнее ограничение величины спина. Мы

применили те результаты, которые у нас получаются с использованием вышеуказанного подхода с результатами, получающимися методом рентгеновской отражательной спектроскопии. В таблице приведены результаты расчетов, и они показывают то, что, с учетом погрешностей и неопределенностей нашего метода, противоречий между нашими результатами и результатами метода рентгеновской спектроскопии нет, за исключением, вот, одного объекта. Памятуя о том, что мы получаем нижнее ограничение величины спина, строго говоря, поэтому делаем вывод о том, что предположение о равномерном распределении является достаточно разумным и далее его применяем, например, для исследования сверхмассивных черных дыр в активных ядрах галактик на красных смещениях более четырех. Нами построена диаграмма “масса-спин”, вот, для трех таких выборок далеких квазаров с привлечением литературных данных о массах и эддингтоновских светимостях данных объектов. Характерная особенность полученных диаграмм заключается в том, что величина спина увеличивается по мере роста массы черной дыры с возможным уплотнением при достаточно больших массах черных дыр: более миллиарда солнечных.

Вторая глава посвящена определению величины магнитного поля в центральных областях активных ядер галактик. В рамках этой главы выводится соотношение, которое связывает величину магнитного поля на горизонте событий с величинами, которые, опять же, могут быть определены на основе наблюдательных данных и далее это соотношение применяется для расчетов магнитных полей для сверхмассивных черных дыр АЯГ первого типа двух выборок. Первая выборка, это объекты, 36 объектов, которые ранее изучались в работах моего научного руководителя Пиотровича и Афанасьева с коллегами на основе поляриметрических наблюдений. А вторая выборка, это выборка у которых спин был определен методом рентгеновской отражательной

спектроскопии. Собственно, наши результаты расчета величины магнитного поля и параметра k , который представляет собой отношение плотности энергии магнитного поля к плотности энергии аккрецирующего вещества, приведены, вот, в последних двух колонках. Они показывают, во-первых, то, что параметр k не превосходит единицы, что, опять же, с учетом неопределенности, говорит о том, что предположение о равномерном распределении является достаточно разумным. А, во-вторых, наши результаты показывают то, что величины магнитных полей варьируются от нескольких единиц килогаусс до нескольких десятков килогаусс с характерным значением где-то 10^4 Гс. Также мы исследовали взаимосвязь между величиной магнитного поля на горизонте событий и другими параметрами и, в частности, здесь стоит отметить, что нам удалось установить обратную пропорциональность между величиной магнитного поля и массой черной дыры, которая выражена в логарифмическом масштабе, с коэффициентом пропорциональности порядка минус семи десятых.

Переходя к... в третьей главе исследуются свойства радиогалактик FR0. В выборку были включены 34 объекта из каталога FROCAT с параметрами, которые приведены на данном слайде. Наблюдения осуществляются с февраля 2020 года по настоящее время на Северном секторе РАТАН-600 на шести частотах одновременно, в результате чего мы получаем квазиодновременный спектр как результат осреднения всех записей прохождения источника на масштабе порядка 7-10 дней. Это делается для увеличения отношения сигнал-шум. И за время наблюдений получено от трех до десяти наблюдательных эпох для каждого объекта. Проведенные измерения позволили установить основные свойства... радиосвойства изученных объектов в сантиметровом диапазоне, такие как радиосветимость, характерное значение которой составляет порядка $7 \cdot 10^{39}$ эрг/с на частоте 5 ГГц, параметр доминирования радиоядра, логарифм

значения этого параметра близок к нулю и это примерно на порядок превосходит соответствующий параметр, рассчитанный для радиогалактик FRI. Также нами проведена классификация квазиодновременных спектров, которая показывает то, что среди них почти половина объектов обладают спектрами выпуклой формы с пиком. Также, нами...характерные особенности радиоспектров проявляются в среднем спектре, который был рассчитан путем осреднения спектров всех источников с тремя и более точками на спектре. Этот спектр обнаруживает двухкомпонентную структуру с доминированием компактного ядра в излучении. На данных двух слайдах показаны скомпилированные радиоспектры галактик FR0, где красные точки показывают измерения РАТАН-600, а черные точки - это доступные нам литературные данные. Большое количество объектов с выпуклым спектром и с пиком естественным образом ставит вопрос о взаимосвязи между радиогалактиками FR0 и молодыми компактными источниками - GPS объектами. Мы отдельно исследовали этот вопрос и, в результате вот этого исследования, выяснилось то, что несмотря на выпуклую форму спектра, во-первых, радиогалактики FR0 часто обладают достаточно широкими спектрами больше...их ширина больше соответствующего значения у классических GPS источников и также, как правило, величины спектральных индексов в области до частоты пика и выше частоты пика, как правило, меньше вот этих классических критериев. Тем не менее, три объекта, которые в таблице отмечены звездочкой, предварительно могут быть классифицированы как GPS источники относительно небольшой мощности. Однако, для более надежной классификации необходимо проведение наблюдений на протяжении достаточно большого времени, поскольку спектр внегалактических радиоисточников может обладать пиком вследствие каких-то вспыхивающих явлений, которые наблюдаются, например, в блазарах. На данном слайде слева показаны ряд квази...ряд спектров,

измеренных за несколько эпох для вот этих трех кандидатов. Все эти спектры демонстрируют относительно небольшой уровень переменности и достаточно постоянную форму спектра, что позволяет нам сделать еще более уверенный вывод о том, что те три объекта могут быть классифицированы как GPS источники относительно небольшой мощности.

В четвертой главе рассматриваются радиосвойства активных ядер галактик на красных смещениях больше тройки. Определены такие параметры как радиосветимость с привлечением как литературных, так и ратановских измерений, характерное значение радиосветимости порядка $2 \cdot 10^{44}$ эрг/с на частоте 5 ГГц, радиогромкость, которая составляет несколько тысяч и также нами рассчитаны средние радиоспектры исследованных объектов в диапазоне красных смещений от 3.0 до 3.8 с шагом по красному смещению 0.1. Эти радиоспектры все имеют выпуклую форму с частотой пика в системе покоя источника около 1.5 ГГц, что означает доминирование компактного ядра в их радиоизлучении, а также говорит о том, что, с учетом погрешностей, значимая эволюция рассмотренных в данном диапазоне красных смещений радиоспектров объектов не наблюдается. Также в четвертой главе рассматривается... приводится пример изучения блазара на красном смещении более шести, это рекордный блазар на настоящее время. Наблюдения проводятся с мая 20 года по настоящее время, это позволило нам получить кривую блеска объекта на частоте 5 ГГц, которая показывает уровень переменности, ну, порядка 0.3 и отсутствие какого-либо значимого тренда в уровне спектральной плотности потока. Также нами измерена...измерен спектр этого объекта в диапазоне от 5 до 11 ГГц, что в сочетании с доступными нам на момент 20 года литературными данными позволило построить его, ну, такой широкодиапазонный спектр, который показывает укрупнение на высоких частотах, что также подтверждается наблюдениями на VLA,

которые были также проведены в 20-м году в диапазоне от 1 до 40 ГГц и также обнаружили укрупнение спектра вот этого объекта на высоких частотах.

По результатам диссертационной работы можно сформулировать следующие основные положения, выносимые на защиту: во-первых, нами определены величины спинов сверхмассивных черных дыр в активных ядрах галактик на основе гибридных моделей генерации джетов в выборках активных ядер галактик разных типов, при этом показано, что типичные значения спинов лежат в пределах от пяти до девяти десятых. Во-вторых, нами определены величины магнитного поля на горизонте событий сверхмассивных черных дыр в 52 активных ядрах галактик первого типа. Показано, что типичное значение магнитного поля составляет 10^4 Гс и найдена обратная зависимость величины магнитного поля от массы черной дыры. В-третьих, на РАТАН-600 измерены спектральные плотности потоков выборки 34 радиогалактик FR0 на указанных частотах, получена спектральная классификация, показано, что преобладает спектр с пиком. Установлена двухкомпонентность среднего спектра. Посчитаны характерная радиосветимость и параметр доминирования радиоядра. Также показано, что примерно 10 % исследованных радиогалактик FR0 могут быть классифицированы как GPS источники относительно небольшой мощности. В-четвертых, определены радиосвойства полной по спектральной плотности потока выборки чуть более ста квазаров на красных смещениях более тройки: их характерные радиосветимость, радиогромкость. Установлено, что для этих объектов характерен спектр с пиком, что означает доминирующий вклад яркого компактного ядра. Для одного из самых далеких квазаров на красном смещении более шести измерен спектр в диапазоне от 5 до 11 ГГц, получена его кривая блеска на частоте 5 ГГц, которая показывает переменность на уровне 30 %.

Научная новизна заключается в том, что для большинства объектов в изученных выборках ограничения величины спина получены впервые, впервые построены диаграммы “масса-спин” для сверхмассивных черных дыр для выборок радиогалактик FRI, FRII, также квазаров на больших красных смещениях более 4. Впервые выполнены оценки величины магнитного поля в аккреционном диске и на горизонте событий сверхмассивных черных дыр для 28 радиоквазаров, а для выборки 52 активных ядер галактик 1 типа установлено обратное соотношение между величиной магнитного поля и массой. Получены новые данные многочастотных измерений на РАТАН-600 спектральных плотностей потоков выборки 34 FR0 радиогалактик, впервые измерены квазиодновременные спектры объектов в столь широком диапазоне от 2 до 22 ГГц. Впервые показана двухкомпонентность среднего радиоспектра в сантиметровом диапазоне. Также показано, что среди квазаров на больших красных смещениях половина объектов характеризуется спектрами с пиком. По новым данным измерений на РАТАН-600 оценены значения радиогромкости и радиосветимости, впервые построен средний радиоспектр объектов в диапазоне красных смещений от 3.0 до 3.8 с шагом 0.1. Независимо измерен радиоспектр блазара на красном смещении более 6, впервые получена его кривая блеска на частоте 5 ГГц на масштабе около полутора лет.

Апробация результатов проводилась в форме устных докладов на следующих конференциях, результаты также опубликованы в рецензируемых журналах, которые приведены на данных двух слайдах.

Личный вклад состоял в развитии...личный вклад диссертанта состоял в развитии метода определения величины спина сверхмассивных черных дыр, в расчетах величины спина, магнитного поля и построении диаграмм “масса-спин”, в расчетах параметров радиоизлучения радиогалактик FR0, далеких квазаров (в последнем случае в соавторстве),

также в расчетах средних радиоспектров объектов в исследованных выборках. Соискателю принадлежит постановка задачи исследования радиогалактик FR0 на РАТАН-600, включая подготовку наблюдательных заявок и подготовку наблюдений. Также диссертантом выполнена постановка задачи исследования блазара на красном смещении 6.1. Соискателем проведена калибровка и обработка измерений на РАТАН-600 для радиогалактик FR0 и для блазара и проведен анализ полученных результатов. Соискателю принадлежит определяющий вклад в подготовку текста публикаций с первым авторством, а обсуждение и интерпретация результатов проводилась наравне с соавторами. Спасибо за внимание.

Председатель:

Спасибо большое за доклад. Кто хочет задать вопрос, пожалуйста, к микрофону. Называйте фамилию и вопросы.

Левшаков С. А.:

Моя фамилия Левшаков. Я хочу вас спросить, уточнить, просто первый пункт из полученных результатов...как он там называется...из основных положений: “Определены величины спинов...”. Из вашего доклада я понял, что вы определяли не величину спина, а нижний предел.

Михайлов А. Г.:

Да, строго говоря, да. Верно.

Левшаков С. А.:

Как тогда понимать ваше утверждение?

Михайлов А. Г.:

Да, абсолютно правильно. Поскольку мы использовали предположение о равномерном распределении, т. е. мы предполагали максимально возможное магнитное поле, если мы считаем, что магнитное поле генерируется за счет процессов аккреции, то, строго говоря, действительно мы получаем нижние границы спина...т. е. они могут быть...то значение, которое мы получили плюс, ну, еще какая-то величина. То есть, это нижняя граница.

Левшаков С. А.:

Тогда формулировка нуждается в уточнении...Звучит как будто спины там получены.

Михайлов А. Г.:

Да. Строго говоря, да, я согласен.

Председатель:

Есть еще вопросы? Прошу вас.

Васильев Е. О.:

Васильев. У меня, собственно, несколько вопросов. Может быть, какие-то простые...Вот вы нашли собственно соотношение между магнитным полем и массой черной дыры. Причем магнитное поле вы говорите о том, что вы определили на горизонте событий. Может быть, я как-то не очень понимаю, ну, основную методику этого всего...Радионаблюдения вряд ли могут разрешить, ну, собственно, масштаб нескольких гравитационных радиусов. Соответственно, это какая-то аппроксимация, не могли бы вы либо дать ссылку, либо рассказать вкратце методику этого всего. Потом... ну вот известно измерение массы черной дыры в М87 и собственно магнитного поля в М87, проведенного телескопом горизонта событий. И там, соответственно, разрешение было несколько микросекунд, вполне достаточно для разрешения нескольких гравитационных радиусов. Как соотносятся вот эти вот данные между вашими данными и то, что получилось у них. Ну и, может быть, последнее то, что как соотносятся в этом случае данные между локальной Вселенной, вот в М87 и далекой Вселенной, то что вы получили, потому что у вас в основном красные смещения больше тройки? Спасибо.

Михайлов А. Г.:

Мы действительно оценивали величину магнитного поля на горизонте событий вот исходя из такого соотношения через темп аккреции, вот, с применением ряда соотношений, т. е. это действительно аппроксимация в

конечном счете. Радиоизмерения здесь не использовались для оценки величины магнитного поля на горизонте событий. По поводу M87...мы не оценивали величину магнитного поля на горизонте событий в M87, поэтому ничего не могу сказать...Какие там значения получены коллаборацией? Т. е. сейчас сам я этого не знаю: значений для M87. И третий вопрос...по поводу далеких...собственно, величины магнитного поля оценивались для объектов, которые достаточно близкие, это активные ядра галактик первого типа, у них относительно небольшие красные смещения. Например, в частности, вот эти объекты, у которых спин был определен по методу рентгеновской отражательной спектроскопии, они все достаточно близкие, т. е. там красные смещения не превосходят 0.1, максимум, 0.2, вот. И то же самое касается вот... сейфертовских галактик, квазаров 1 типа, которые исследуются вот в этой работе. Это достаточно близкие объекты. Далекие объекты уже исследовались только в четвертой главе и здесь говорится только об их радиосвойствах.

Председатель:

Вас устраивает ответ?

Васильев Е. О.:

Да-да. Спасибо.

Председатель:

Переходим к следующему вопросу. Да, пожалуйста.

Трушкин С. А.:

Трушкин. Саш, по поводу измерений светимости. Там есть формула, которую вы приводите, но там входит в нее еще одна неизвестная величина - расстояние светимости, в которую входят обязательно космологические параметры, вы про это ничего не сказали, а обязательно надо упоминать какие используются. И, во-вторых, каким образом это делается...это не делается на логарифмической линейке, это делается,

наверно, специальной программой не очень просто на самом деле. Расстояние светимости не измеряется простым вычислением, вот, это требует некоторых усилий. Тоже об этом ничего не сказано. И наконец, все-таки, по поводу вот предыдущего вопроса, который задан был...по поводу все-таки физики того, что вы используете. Насколько мы понимаем, в аккреции на черные дыры главным является все-таки эффект давления светового. В данном случае вы используете приравнивание, так сказать, вот этой вот энергии к магнитной энергии...энергии аккреции к магнитной энергии, что в общем-то надо как-то обосновать, потому что так сказать, насколько я понимаю, мы все-таки имеем дело со светимостью, связанной с...эддингтоновской светимостью. Об этом тоже ни слова не сказано было. Все-таки надо как-то более точно и более подробно объяснить. Спасибо.

Михайлов А. Г.:

Спасибо. Вы говорите о радиосветимости, да, сюда входит яркостное расстояние. Оно рассчитывалось в рамках...с помощью космологического калькулятора с выставлением космологических параметров, которые были измерены, в частности, Планком, т. е. это численный счет, и он потом использовался для расчета радиосветимости.

Трушкин С. А.:

Т. е. это не вы?

Михайлов А. Г.:

Нет, я пользовался просто готовым продуктом. По поводу...да, здесь мы предполагаем равномерное распределение между величиной...например, между радиационным давлением и магнитным давлением. Поскольку это, конечно же, упрощение, но ничего лучше я со своей стороны предложить не могу. И опять же, повторяюсь, что это приводит нас к получению нижних границ. Т. е. мы берем максимально возможное магнитное поле, которое...понятно, что давление магнитного поля не может, из общих

соображений, оно не может превосходит радиационное давление. Вот мы берем две модели и верхнюю оценку магнитного поля, которое получается из таких соотношений, если мы параметры бета и бета-один возьмем, положим равными единице. Вот.

Председатель:

Сергей, вас устраивает ответ? Игорь Дмитриевич, пожалуйста.

Караченцев И. Д.:

В последней главе вы показываете кривую блеска одного объекта. Вот вы говорите...там было в выводах, что обнаружена переменность порядка 30 %. Вот наверно, здесь можно было бы показать какое-то скользящее среднее на этой диаграмме, к чему относится 30 %? К какому временному интервалу? Это общий тренд на интервале наблюдений полтора года или же на временах порядка месяца?

Михайлов А. Г.:

Это кривая блеска, здесь она показана на масштабе порядка года и вот эта цифра относится к, собственно, этому временному масштабу. Тренда здесь общего, действительно, нет, т. е., если вот посчитать среднее, оно примерно постоянное. А вот это число, три десятых, оно в общем-то просто характеризует точность наблюдений и разброс измерений. Они все лежат, как бы, в пределах погрешностей отдельных измерений, вот. Но какого-либо значимого общего тренда здесь нет на масштабах, которые в настоящее время нами исследованы.

Председатель:

Алексей, пожалуйста.

Моисеев А. В.:

Короткий вопрос. Моисеев. Вы все про оценки параметров, и я про оценки параметров. Вы сказали, что для оценки массы черных дыр брали...там, где зависимость масса-спин, брали литературные данные, там есть близкие сейферта известные. Там же, как правило, есть разные методы для оценки

массы. У вас были какие-то предпочтения, либо там брали какую-то среднюю оценку, когда выбирали...По разным методам оценки масс черных дыр, если у вас для галактики было несколько вариантов оценки массы.

Михайлов А. Г.:

Конкретно, вот эта диаграмма, она взята из обзора вот...

Моисеев А. В.:

Нет, там дальше вы говорили ваша диаграмма...зависимость...

Михайлов А. Г.:

Вот здесь?

Моисеев А. В.:

Ага.

Михайлов А. Г.:

Значения массы, которые использованы для построения...они взяты из работ Трахтенброта, Маццучелли и де Розы. Т. е. они оценивали массу черной дыры по...на основе спектроскопических наблюдений. А мы добавили сюда просто оценку спина.

Моисеев А. В.:

Все, понятно. Спасибо, я понял.

Председатель:

Последний вопрос, больше нет желающих? Переходим к отзыву научного руководителя, Оля.

Секретарь:

Присутствует ли научный руководитель в зуме? Пиотрович Михаил Юрьевич. Дайте ему, пожалуйста, слово. Если он хочет сам свой отзыв озвучить, мы ему дадим такую возможность.

Пиотрович М. Ю.

Здравствуйте! Ну я кратко просто опишу. Во-первых, что касается темы диссертации, это, конечно, очень актуальная тема. Черные дыры и, в

частности, сверхмассивные черные дыры в центрах галактик это очень интересный объект, передний край современной астрофизики и, вообще, теоретической физики. Важным положительным элементом именно этой работы является то, что здесь рассматриваются эти объекты в разных диапазонах длин волн. В частности, в радиодиапазоне, видимом диапазоне и в рентгеновском диапазоне, что на самом деле бывает достаточно редко. Как правило, люди исследуют эти объекты в каком-то одном диапазоне. Что касается именно диссертанта, хочу сказать, что он работал очень хорошо, проявлял большую самостоятельность в работе. Большую часть работы он, собственно, делал вообще сам, я только давал общие указания. Можно отметить, что много публикаций...что для диссертационной работы 11 публикаций, из которых больше половины в журналах первого квартала, это очень серьезный такой результат. Ну и, в целом, диссертант успешно справился с работой, я считаю, и заслуживает присуждения степени кандидата физ.-мат. наук. Ну вот, в целом так, кратко. Спасибо.

Секретарь:

Спасибо, Михаил Юрьевич. Следующий из официальных документов у нас, это заключение организации.

(читает отзыв с места выполнения работы)

Председатель:

Спасибо. У нас отзывы на автореферат не поступили, насколько я помню?

Секретарь:

Нет, отзывов на автореферат нет.

Председатель:

Поэтому переходим к официальным отзывам. Прежде всего это ведущая организация. Продолжаем.

Секретарь:

(читает отзыв ведущей организации)

Председатель:

Спасибо. Пожалуйста, отвечайте на замечания и вопросы.

Михайлов А. Г.:

Спасибо за отзыв. Я хотел бы прокомментировать...

Председатель:

Да, пожалуйста. Чуть громче.

Михайлов А. Г.:

Насчет первого замечания по поводу предельного значения величины спина 0.998. Это действительно верное замечание, могу только добавить, что оно было рассчитано в работе 74-го года Кипом Торном. Возникает оно, поскольку излучение, возникающее в процессе аккреции, оно противодействует максимальной раскрутке черной дыры до единицы, до максимального спина. По поводу того, что нужно давать пояснения ключевых понятий, как ретроградное и проградное вращение...да, с этим я согласен, это мое упущение. Третье замечание насчет поляризации...с этим замечанием я тоже согласен, могу только прокомментировать то, что измерения степени поляризации могут прояснить ситуацию, поскольку учет величины магнитного поля, которое может быть разным в керровских черных дырах с большим, близким к предельному вращению и шварцшильдовских, у которых вращение стремится к нулю, оно все-таки разное и это может за счет эффекта фарадеевской деполяризации влиять на степень выходящего поляризованного излучения, т. е. в этом направлении возможно выявить какие-то различия между этими двумя случаями. Так, далее, по поводу...красных смещений. Ну первое...здесь было три выборки. Первая выборка наиболее многочисленная, она порядка 40 объектов, диаграмма “масса-спин” приведена здесь...у них у всех красное смещение порядка 4.8, там разница буквально...не более чем 0.1, т. е. это все объекты на одном и том же расстоянии практически. Это первый момент, а, во-вторых, поскольку мы использовали массы,

полученные на основе спектроскопических данных всеми этими авторами...однако, следует отметить, что массы и болометрические светимости для вот этих объектов, они считались все-таки немножко разными методами и поэтому, чтобы не вводить дополнительный такой влияющий фактор, мы не проводили совместный анализ вот этих диаграмм. И последнее замечание, насчет спектров FR0, да? Ну, здесь я могу только добавить, что действительно, когда мы измеряем квазиодновременные спектры за множество эпох и считаем спектральные индексы для всех объектов, то в этом случае статистически надежно установлено то, что в диапазоне примерно от 5 до 8 ГГц среднее значение спектрального индекса...оно, близко к нулю, что собственно и видно на посчитанных нами средних спектрах. А на чуть более высоких частотах есть некоторое укрупнение, т. е. вот эти закономерности: плоский участок в среднем спектре и небольшое укрупнение на высоких частотах...вот эти особенности в спектре они также подтверждаются просто расчетами квазиодновременных спектральных индексов, которые можно посчитать по таким спектрам, графики которых показаны. Все, спасибо, я закончил комментарии.

Председатель:

Так, друзья, у нас есть...один официальный оппонент приехал, и мы предоставляем ему возможность сделать самому свое сообщение.

Харинов М. А.:

Так, Харинов Михаил Александрович из Института прикладной астрономии. Отзыв...актуальность темы...я просто по-быстрому прочитаю, наверно.

(читает отзыв официального оппонента)

Так замечания...

Председатель:

Ну можно отметить положительные моменты, потому что у нас, почему-то, звучат только замечания, а все-таки, что вы оцениваете положительно или такого нет?

Харинов М. А.:

Ну, в работе...я своими словами скажу, что в работе проведен анализ очень такой обширный, большой, по большому количеству источников и...не то чтобы источников, а исследуется, наверно, я насчитал шесть, по моему, по всей диссертации различных выборок, каждая насчитывает от порядка 30 до сотни объектов, т. е., в результате как бы проведена такая большая работа и по наблюдательным данным в том числе. Это несомненно является, как бы, хорошей стороной работы. То есть, проведен анализ систематический большого количества объектов. Так, еще одно скажу слово, что значительный объем результатов многочастотных наблюдений активных ядер галактик на РАТАН-600 может быть использован для решения ряда актуальных задач внегалактической астрономии. Разработанный метод оценки спина может быть использован для новых выборок исследуемых объектов и способствовать развитию новых методов решения астрофизических проблем в этом направлении, так. Опять-таки, по результатам работы было опубликовано 11 печатных работ, входящих в список ВАК. И, все-таки, по замечаниям касательно текста диссертации. У меня следующие.

(читает отзыв официального оппонента)

Председатель:

Спасибо большое. Александр, вам надо ответить на некоторые замечания.

Михайлов А. Г.:

Спасибо за замечания и работу по отзыву. Первое замечание насчет того, что не хватает кривых аппроксимаций. В целом, да, я с этим замечанием согласен. В принципе, следует отметить, что если брать кривые аппроксимации, то разница между вот этими двумя диапазонами масс она

действительно, в общем-то, невелика и статистическая значимость там, в общем-то, небольшая поэтому я решил этого не делать и просто предварительно отметил, что возможно на больших массах уже зависимость слабая. А все остальные замечания по поводу...по поводу того, что нет единого стиля в подписях в таблицах и рисунках, с этим я согласен полностью. Насчет маркеров обозначения выборок...с этим я тоже согласен. И замечание насчет того, сколько радиогалактик FR0 в выборке...На самом деле их 34, просто...дело в том, что не все их сразу удалось наблюдать и получилось так, что в той таблице, по которой вы считали количество, их действительно 33...вот. На самом деле, на тот момент, когда писалась соответствующая работа их было действительно 33, отнаблюдаемых, а впоследствии добавились наблюдения еще одного объекта, которые показаны на спектрах, ну вот, здесь. В общем это правильное замечание, спасибо. Собственно, все.

Председатель:

И у нас второй оппонент, Ильфан Фяритович, через интернет.

Бикмаев И. Ф.:

Добрый день! Меня слышно хорошо?

Председатель:

Отлично!

Бикмаев И. Ф.:

Добрый день, уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые коллеги. Я не буду зачитывать отзыв...официальный отзыв мой на сайте диссертационного совета вывешен был. Я постараюсь прокомментировать устно и в конце, значит, основные положения, которые необходимо, зачитаю. Ну, выскажу в целом свое впечатление о работе и о результатах, которые получены. Работа...естественно тематика работы очень актуальна, здесь сомнений никаких нет и работа очень объемная. Я бы разделил ее на две большие части: она фактически выполнена в рамках

двух школ. Одна школа, условно, можно назвать школа теоретической астрофизики, которой руководил Юрий Николаевич Гнедин и сейчас эти работы продолжает, развивает научный руководитель - Пиотрович Михаил Юрьевич. А вторая школа - это школа экспериментальной астрофизики на РАТАН-600 и поэтому, конечно, я считаю диссертанту очень повезло, потому что у него была большая подводная часть айсберга, которая позволяла ему выполнять работу и в первой части (первые две главы) и во второй части, экспериментальной, вот. Ну, у меня по первым двум главам, где получены результаты по спинам и, значит, по магнитным полям...ну, ощущение сложилось, что конечно здесь диссертант оказался просто заложником того, что у него не было своих данных и как он сам пишет, результаты были модельно зависимые. Поэтому, ему, конечно, было в этой ситуации сложно, потому что фактически все параметры, которые он аккуратно пытался по заданию руководителя получить, они, ну держатся на... фактически на спектральном распределении сверхмассивных черных дыр и ширинах эмиссионных линий, которые зависят от многих параметров. Ну, в первую очередь, там коррелируют с массой сверхмассивной черной дыры, а после этого диссертант пытался еще, используя эти данные опубликованные, получать еще вещи, связанные с ограничением на спин и на магнитные поля. Ну здесь надо сказать в пользу диссертанта что, то, что он смог сделать, используя опубликованные данные и опубликованные модели, он сделал, ну, результаты оказались так, можно сказать, где-то дискуссионными, вот. Но это постановка задачи руководителя, здесь у меня таких явных претензий к диссертанту нет. Результаты опубликованы и в этой части они опубликованы в хороших журналах, в рецензируемых журналах, поэтому в достоверности полученных результатов сомнений нет. Вторая часть диссертации, это главы 3 и 4, являются очень, на мой взгляд, сильными выигрышными, здесь появляются и собственные, ну, если не совсем

собственные наблюдения, понятно, что коллектив РАТАНа участвовал в проведении этих наблюдений, но непосредственно диссертант был уже привлечен к обработке данных РАТАН-600 и непосредственно к наблюдениям на РАТАН-600. И третья глава, которая касается вот объектов близких FR0, она...судя по тексту диссертации...он является инициатором этой программы, которая выполняется сейчас на РАТАН-600...и те результаты, которые получены в 3-4 главе, конечно, они являются очень выигрышными и это является сильной стороной диссертации. Ну, коротко я только обозначу, что мне нужно так сказать в качестве оппонента. По первой главе, здесь практическим результатом я считаю может считаться диаграмма “масса-спин”, которая может представлять научный интерес в вопросе о характере и эволюционной истории аккреции на центральную сверхмассивную черную дыру. Во второй главе, где исследованы 52 источника для объектов, для которых спин определен независимым образом и по опубликованным спектроскопическим наблюдениям на 6-метровом телескопе, важными и практическими результатами являются найденные диссертантом типичное значение магнитного поля на горизонте событий сверхмассивной черной дыры порядка 10^4 Гс, хотя это вещь как бы стандартная, может казаться, что она и должна была такой получиться, но тем не менее он количественно проделал работу, получил эти данные, все результаты были опубликованы. В третьей главе, которая касается наблюдений популяции радиогалактик типа FR0, с компактными радиоядрами, здесь эта работа выполнена, как я уже говорил, с активным участием диссертанта. Использовано такое преимущество РАТАН-600 как квазиодновременные многочастотные наблюдения в широком диапазоне частот, от 1.25 до 22.3 ГГц, это диапазон, который существенно дополняет наблюдения, которые были выполнены на зарубежных телескопах на других частотах и здесь на основании полученных оригинальных новых наблюдений на РАТАН-600,

в сочетании с опубликованными данными, диссертантом были исследованы основные свойства этих галактик: характер радиоспектра, доминирующая форма мгновенных спектров, радиосветимость...и я считаю, что результаты, которые получены в этой главе, являются новыми и оригинальными. Ну и 4 глава...здесь исследованы объекты далекие, квазары на больших красных смещениях и на очень больших красных смещениях, и я считаю, что практическим результатом данной главы являются также новые наблюдательные данные РАТАН-600 для далеких квазаров, которые существенно дополняют имевшийся ранее дефицит опубликованных радиоизмерений для далеких источников. Поэтому в этом смысле есть некоторый даже потенциал использования этих результатов, не все наблюдения, которые были получены...еще не все новые результаты извлечены из этих данных, поэтому я думаю, что здесь новые результаты еще предстоит диссертанту получить. Работа мне понравилась, сама она написана ясным грамотным языком, все понятно, о чем идет речь, но есть у меня два замечания, я их зачитаю.

(читает отзыв официального оппонента)

Председатель:

Спасибо большое. Александр Геннадьевич, надо ответить, есть замечания.

Михайлов А. Г.:

Спасибо за отзыв. По поводу первого замечания, насчет той таблицы, вот она приведена на данном слайде. Как я уже говорил, строго говоря, мы получаем нижнее ограничение величины спина, поэтому тот факт, что для этого объекта, вот, 1H0707, например, значения 0.38 и 0.72 меньше, чем 0.94...это просто отражает тот факт, что мы получаем нижнюю границу спина...на самом деле в диссертации об этом написано, да. Противоречие возникает только в случае, если у нас имеет место обратная ситуация, т. е. если спин XRS меньше по величине, чем полученные нами значения. Такое есть для объекта Fairall 9, но это единственный такой объект,

поэтому, в целом, противоречий с опубликованными ранее результатами, я считаю, нет. Насчет диаграммы “масса-спин” ...да, здесь действительно статистическая значимость невелика, поэтому ее приводить...я от этой идеи отказался в диссертации, т. е. просто качественно описал ее поведение.

Бикмаев И. Ф.:

Спасибо, я удовлетворен ответами, я понял.

Председатель:

Так, прошу, друзья, мы прошли все официальные отзывы, поэтому переходим в режим свободного обсуждения, пожалуйста, кто хочет высказаться? Прошу к микрофону поближе.

Васильев Е. О.:

Я могу сказать, что очень интересно было слушать, очень интересная работа. Редко, когда в одной диссертации встречаются и теория, и наблюдения. И, наверно, тот разброс красных смещений о которых говорили...это наоборот достоинство, потому что если раньше считалось, что черные дыры...сверхмассивные черные дыры, они наблюдаются только в ближней Вселенной, то теперь они наблюдаются и в далекой Вселенной и их масса не сильно отличается от современных. Я призываю голосовать “за”, ну а вам...наблюдений черных дыр больших и далеких!

Михайлов А. Г.:

Спасибо.

Председатель:

Кто-то еще хочет высказаться? Алексей.

Моисеев А. В.:

Там зачитывали из отзыва на представлении...было высказано мое мнение, я не буду его повторять. Здесь несколько раз говорилось, что здесь у нас в работе объединилось в общем-то несколько школ...хорошая теоретическая школа аналитических моделей Юрия Николаевича Гнедина

с теми методами, которые дает РАТАН по многочастотным наблюдениям радиообъектов. Я считаю важным подчеркнуть то, что вот оживленная дискуссия была, вопросы...потому что, в общем-то...не только потому что мы все хорошо знали Юрия Николаевича, но и потому что тема никого не оставляет равнодушным. Для меня важно то, что задаются вопросы, которые являются, в общем-то, поводами для новых работ, вот сравнение свойств М87...те что получают сейчас современными методами новые телескопы с тем, что дает данный метод, он требует отдельного разбирательства диссертанта, пожелаем ему дальнейшей успешной работы. Очень здорово, что у нас на РАТАНе есть свой сильный теоретик, который умеет работать на месте с наблюдательными данными. Я как член диссовета и сам проголосую и призываю остальных поддержать данную работу.

Михайлов А. Г.:

Спасибо.

Председатель:

Пожалуйста.

Сотникова Ю. В.:

Коллеги, я хотела бы обратить внимание членов диссертационного совета на высокую степень личного вклада соискателя. Например, программа исследования FR0 была полностью инициирована им самим: постановка задачи, подача заявок...уже несколько, наверно, года три, эта программа у нас идет, полностью обработка и интерпретация данных, это 100 % его инициатива. Аналогично по самому далекому блазару 0309 это полностью инициатива Саши. Он также участвует в подобной программе по исследованию предельно далеких объектов по коллаборации с коллегами из других учреждений. И, я думаю, это достаточно редкий случай...у нас, у радиоастрономов, когда соискатель умеет наблюдать и обрабатывать данные РАТАН-600, понимает тонкости, в том числе, калибровки...это

редко для нас, к сожалению, сейчас. Это полностью все его вклад, прошу это также учесть. Спасибо.

Михайлов А. Г.:

Спасибо.

Председатель:

Марат Габдуллович Мингалиев.

Мингалиев М. Г.:

Мингалиев. Я считаю, что...я просто обязан на тему изложенной работы высказаться. Почему, я поясню в конце своего выступления. Нам была представлена прекрасная...прекрасно выполненная и прекрасно представленная квалификационная работа. Напоминаю, что диссертационная работа, кандидатская диссертация — это квалификационная работа и неоднократно в отзывах упоминалось, что поставленная задача руководителем и руководитель изначально Юрий Николаевич Гнедин и почему я считаю обязан, потому что...я с ним не одно десятилетие знаком...он все время говорил, что “давай на РАТАНе начнем...” но не хватало рук. Так получилось, что нам повезло, появился Саша и провел прекрасную работу, представил ее в успешном сочетании теории и экспериментальной части. Это демонстрирует...иллюстрирует количество публикаций, как указывалось практически в выступлениях и не оспаривается личный вклад, о чем тоже говорилось. И, я хочу подчеркнуть, принесена новая тема на радиотелескоп РАТАН-600, вы знаете, что это уже инструмент, которому уже без малого полвека, но он по сей день является востребованным и нужным в решении актуальных проблем. Действительно кандидат, вернее, выступающий имеет полное право претендовать на звание кандидата физ.-мат. наук по соответствующей специальности. Я надеюсь, коллеги поддержат меня в этом.

Михайлов А. Г.:

Спасибо.

Панчук В. Е.:

Панчук. Ну, Марат Габдуллович уже перехватил...я думал, что право цитировать Виктора Леонидовича попадет мне...о том, что, прежде всего, это квалификационная работа. Второе, у нас в последние годы подняли слова о многоволновой астрономии. Значит, те, кто на это покушается, они, конечно, очень сильно рискуют, потому что большинство...это извините моя точка зрения, большинство явлений на многоволновом уровне не объясняются, а еще более запутываются. Поэтому претензии, которые вот здесь были на сравнение результатов, полученными различными методами, они, конечно, частично объясняются модой на многоволновую Вселенную и т. д. В целом, все требования выполнены с... я впервые слышу защиту, потому что в Ученый совет не вхож, значит на все вопросы даны ответы, диссертант показал очень хорошее знание материала в очень широком диапазоне знаний. Прекрасно представлена кандидатская, это замечательное удовольствие слышать такие ответы. Я призываю всех членов диссертационного совета положительно оценить такую работу и присвоить звание кандидата.

Председатель:

Ну что, мы завершаем дискуссию? Никто больше не желает выступить? Прекрасно, тогда мы даем заключительное слово нашему соискателю. Саша, если вы хотите еще несколько слов сказать...

Михайлов А. Г.:

Да, спасибо. Я хочу сказать спасибо за работу диссовета. В первую очередь я хочу сказать спасибо трем людям благодаря которым я, собственно, оказался на этом месте. Во-первых, это конечно же, Юрий Николаевич Гнедин без которого вообще...собственно я не начал бы заниматься астрофизикой. Во-вторых, я благодарен Михаилу Юрьевичу Пиотровичу, который помог мне завершить работу. И, в-третьих, я хочу

сказать то, что Юлия Владимировна Сотникова...ее заслуга, собственно тоже велика в том, что я сегодня представляю свою работу. Поддержка очень много значит. Спасибо за внимание. Спасибо всем.

Председатель:

Хорошо. Тогда нам необходимо провести тайное голосование по результатам представления, и я предлагаю выбрать счетную комиссию. Предлагаю...Михаила Юрьевича Сачкова в нашу комиссию, Владимира Евгеньевича Панчука и...Трушкин. Кто за такой состав комиссии, прошу голосовать. Кто против? Нет. Комиссию прошу приступить к работе.

(проводится процедура тайного голосования)

Председатель:

Слово предоставляется председателю счетной комиссии.

Сачков М. Е.:

Протокол № 141 заседания диссертационного совета Д002.203.01 от 3 октября 2022. В состав комиссии вошли Сачков, Панчук, Трушкин. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Михайлова А. Г. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. В составе диссертационного совета 20 человек, присутствовало на заседании 14 членов совета, в том числе, докторов физ.-мат. наук - 13, роздано бюллетеней - 14, осталось нерозданных - 0, оказалось в урне бюллетеней - 14. Результаты: за присуждение ученой степени кандидата физ.-мат. наук - 14, против - 0, недействительных - 0.

Председатель:

Спасибо большое. Так, друзья, мы поздравляем нашего соискателя успешного. Поздравляем и желаем продлить вашу программу FR0...Хотя там и говорили, что работа завершенная, но я думаю...надеюсь, что она будет иметь продолжение. Всего вам доброго, успехов научных в дальнейшем.

Михайлов А. Г.:

Спасибо.

Председатель:

Но! Члены диссертационного совета, не разбегаемся, а мы зачитаем заключение совета по диссертации.

(члены совета обсуждают проект заключения)

Председатель:

Тогда все, мы проголосуем сегодня на этой защите последний раз. Кто за этот документ с поправками, прошу голосовать. Кто против? Воздержавшиеся? Нет. Все свободны. Следующее заседание в 11.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.203.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 3 октября 2022 г. № 142

О присуждении Михайлову Александру Геннадьевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Определение физических параметров сверхмассивных черных дыр и исследование радиосвойств активных ядер галактик» по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия» принята к защите 17 июня 2022 г., протокол № 129, диссертационным советом Д002.203.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель, Михайлов Александр Геннадьевич, 1983 года рождения, в 2014 году окончил Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет по направлению подготовки 011200 «Физика», с 01.11.2018 г. по настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории радиоастрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН, Пиотрович Михаил Юрьевич.

Официальные оппоненты:

1. Бикмаев Ильфан Фяритович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрономии и космической геодезии Института Физики Казанского (Приволжского) Федерального университета;
2. Харинов Михаил Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиоастрономических наблюдений Института прикладной астрономии РАН;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подготовленном доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником сектора Теоретической астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН Иванчиком Александром Владимировичем, одобренном на заседании семинара сектора Теоретической астрофизики 11 мая 2022 года, утвержденном зам. директора по научной работе ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН доктором физико-математических наук Брунковым П. Н., указала, что диссертация является завершённым научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия», а её автор Михайлов А.Г. заслуживает присуждения ему искомой степени.

Соискатель имеет одиннадцать опубликованных работ по теме диссертации (общим объемом 97 страниц), напечатанных в рецензируемых журналах. Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Gnedin Yu. N., Mikhailov A. G., Piotrovich M. Yu.; "The most distant quasar at $z = 7.08$: Probable retrograde rotation of an accreting supermassive black hole", *Astronomische Nachrichten*, Vol. 336, Issue 3, p. 312 (2015);
2. Mikhailov A. G., Gnedin Yu. N., Belonovsky A. V.; "Determination of the Magnitude of the Spins of Supermassive Black Holes and the Magnetic Fields in Active Galactic Nuclei", *Astrophysics*, Vol. 58, Issue 2, pp. 157-167 (2015);
3. Piotrovich M. Yu., Buliga S. D., Gnedin Yu. N., Mikhailov A. G., Natsvlshvili T. M.; "Dependence of the Spin of Supermassive Black Holes on the Eddington Factor for Accretion Disks in Active Galactic Nuclei", *Astrophysics*, Vol. 59, Issue 4, pp. 439-448 (2016);

4. Mikhailov A. G., Gnedin Yu. N.; "Determination of the Spins of Supermassive Black Holes in FR I and FR II Radio Galaxies", *Astronomy Reports*, Vol. 62, Issue 1, pp. 1-8 (2018);
5. Mikhailov A. G., Piotrovich M. Yu., Gnedin Yu. N., Natsvlshvili T. M., Buliga S. D.; "Criteria for retrograde rotation of accreting black holes", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 476, Issue 4, pp. 4872-4876 (2018);
6. Mikhailov A. G., Piotrovich M. Yu., Buliga S. D., Natsvlshvili T. M., Gnedin Yu. N.; "Relationship Between the Spins and Masses of Supermassive Black Holes in Distant Active Galactic Nuclei with $z > 4$ ", *Astronomy Reports*, Vol. 63, Issue 6, pp. 433-444 (2019);
7. Piotrovich M. Yu., Mikhailov A. G., Buliga S. D., Natsvlshvili T. M.; "Determination of magnetic field strength on the event horizon of supermassive black holes in active galactic nuclei", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 495, Issue 1, pp. 614-620 (2020);
8. Mikhailov A. G., Sotnikova Yu. V.; "Radio Properties of FR0 Galaxies According to Multifrequency Measurements with RATAN-600", *Astronomy Reports*, Vol. 65, Issue 4, pp. 233-245 (2021);
9. Mufakharov T. V., Mikhailov A. G., Sotnikova Yu. V., Mingaliev M. G., Stolyarov V. A., Erkenov A. K., Nizhelskij N. A., Tsybulev, P. G.; "Flux-density measurements of the high-redshift blazar PSO 10 J047.4478+27.2992 at 4.7 and 8.2 GHz with RATAN-600", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 503, Issue 3, pp. 4662-4666 (2021);
10. Mikhailov A. G., Sotnikova Yu. V.; "The relationship between FR0 radio galaxies and gigahertz-peaked spectrum sources", *Astronomische Nachrichten*, Vol. 342, Issue 1130, pp. 1130-1134 (2021);
11. Sotnikova Yu. V., Mikhailov A. G., Mufakharov T. V., Mingaliev M. G., Bursov N. N., Semenova T. A., Stolyarov V. A., Udovitskiy R. A., Kudryashova A. A., Erkenov A. K.; "High-redshift quasars at $z > 3$ - I. Radio spectra", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 508, Issue 2, pp. 2798-2814 (2021).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, высокой компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 1) Впервые построены диаграммы “масса–спин” для сверхмассивных черных дыр в выборках АЯГ следующих типов: радиогалактик типа FRI и FRII, квазаров на больших красных смещениях $z > 4$;
- 2) Для выборки 52 АЯГ 1 типа впервые установлено обратное соотношение между величиной магнитного поля на горизонте событий и массой черной дыры: $\log B_H \sim -0.7 \log M_{BH}$;
- 3) Впервые измерены квазиодновременные спектры радиогалактик типа FR0 в диапазоне 2–22 ГГц. Впервые показана двухкомпонентность среднего радиоспектра галактик FR0 в сантиметровом диапазоне;
- 4) Показано, что среди квазаров на больших красных смещениях $z \geq 3$ половина объектов характеризуется радиоспектрами с пиком. Впервые построен средний радиоспектр объектов в интервале красных смещений $z = 3.0 - 3.8$ с шагом $\Delta z = 0.1$. Независимо измерен радиоспектр блазара J0309+2717 на $z = 6.1$, впервые получена его кривая блеска на частоте 4.7 ГГц на масштабе около полутора лет.

Теоретическая значимость диссертационной работы обоснована тем, что результаты, полученные соискателем, могут быть использованы для исследования истории и характера аккреции в центрах галактик путем анализа построенных диаграмм “масса–спин”. Полученные результаты измерения спектральных плотностей потоков радиогалактик FR0 и далеких квазаров на $z \geq 3$ могут быть использованы для моделирования континуальных радиоспектров, исследования связи “диск–джет” и определения физических условий во внегалактических радиоисточниках.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. При выполнении диссертационного исследования развит метод определения спина сверхмассивных черных дыр, показана его применимость для построения диаграмм “масса–спин” для больших выборок объектов. Это открывает возможность проведения статистического анализа подобных диаграмм с целью изучения процессов аккреции в центральных областях АЯГ.
2. На основе квазиодновременных измерений на РАТАН-600 определены характерные свойства радиогалактик FR0 в сантиметровом диапазоне. Полученные данные позволяют исследовать взаимосвязь данного класса объектов с другими классами

внегалактических радиоисточников, что показано на примере исследования взаимосвязи между радиогалактиками FR0 и GPS источниками. Подобные исследования позволят решить проблему природы галактик FR0 и активности в радиоисточниках ближней Вселенной.

3. Данные измерений спектральных плотностей потоков далеких квазаров на $z \geq 3$ существенно дополняют радиоизмерения источников в ранней Вселенной. В сочетании с данными из других диапазонов электромагнитного спектра это открывает возможность комплексного исследования природы АЯГ и их эволюции. Преимущество радиотелескопа РАТАН-600 заключается в возможности получения долговременных кривых блеска, что продемонстрировано на примере изучения блазара J0309+2717 на красном смещении $z = 6.1$.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность полученных результатов обусловлена и обеспечена современным уровнем развития теоретических представлений о центральной машине АЯГ, а также известной точностью использованных наблюдательных данных. Достоверность результатов измерений спектральных плотностей потоков на РАТАН-600 обеспечена использованием штатных методов наблюдений и калибровки наблюдательных данных. Спектральные плотности потоков объектов измерены на шести частотах одновременно, что позволило исключить влияние систематических ошибок измерений и переменности объектов на результат. Результаты работы апробированы на международных и всероссийских конференциях.

Личный вклад автора состоит в:

- Развитии метода определения спина сверхмассивных черных дыр в рамках гибридных моделей генерации релятивистских джетов;
- Расчетах величины спина, магнитного поля, построении диаграмм «масса-спин»;
- Расчетах параметров радиоизлучения галактик FR0, далеких квазаров (в соавторстве), расчетах средних радиоспектров объектов в исследованных выборках;
- Постановке задач исследования радиогалактик FR0 и блазара J0309+2717 на $z = 6.1$ на РАТАН-600 (включая подготовку наблюдательных заявок в 2020-21 гг. и подготовку наблюдений).

- Калибровке и обработке измерений на РАТАН-600 (радиогалактики FR0 и блазар J0309+2717), анализе полученных результатов;
- Определяющем вкладе в подготовку текста публикаций с первым авторством.

На заседании 03 октября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Михайлову Александру Геннадьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14, против - 0 недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Клочкова В.Г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шолухова О.Н.

03 октября 2022 г.